

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-189507

(43)Date of publication of application : 10.07.2001

(51)Int.Cl.

H01S 3/06

(21)Application number : 11-375639

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 28.12.1999

(72)Inventor : SUZUKI MASAO

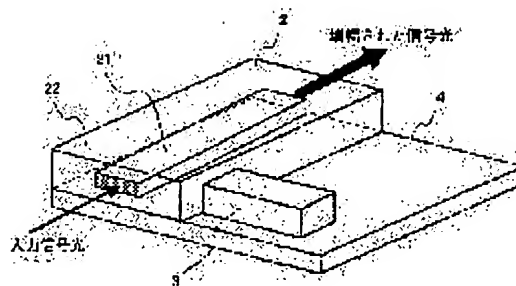
KOGURE TAICHI

## (54) OPTICAL AMPLIFIER

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a small and high-output optical amplifier.

SOLUTION: A quartz optical waveguide 2 comprising a quartz core 21 and a clad 22 as well as an excitation light source 3 comprising a multi-mode semiconductor laser is integrated on a silicon substrate 4. The core 21 is doped with rare earth element such as erbium, praseodymium, or thulium. The excitation beam is made incident into the clad 22 from the crossing direction where the signal beam is propagated in the core 21, so that the rare earth element in the core 21 comes into a highly excited state. Thus, the signal beam propagated in the core is amplified.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

**BEST AVAILABLE COPY**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-189507

(P2001-189507A)

(43) 公開日 平成13年7月10日 (2001.7.10)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H 0 1 S 3/06

識別記号

F I

H 0 1 S 3/06

キーワード\* (参考)

A 5 F 0 7 2

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号

特願平11-375639

(22) 出願日

平成11年12月28日 (1999. 12. 28)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 鈴木 巨生

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72) 発明者 小暮 太一

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(74) 代理人 100089118

弁理士 酒井 宏明

Fターム (参考) 5F072 AB07 AB09 AK06 AK10 JJ04

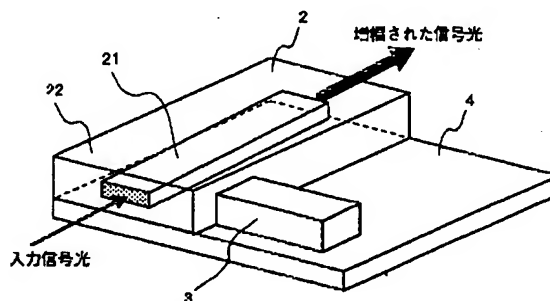
PP07 RR01 YY17

(54) 【発明の名称】 光増幅器

(57) 【要約】

【課題】 小型で高出力の光増幅器を得ること。

【解決手段】 石英製のコア21およびクラッド22からなる石英光導波路2とマルチモードの半導体レーザよりなる励起光源3をシリコン製の基板4上に集積する。コア21にはエルビウム、プラセオジウムまたはトリウムなどの希土類元素がドーパされる。コア21内で信号光が伝搬する方向に対して交差する方向からクラッド22内に励起光を入射させ、コア21内の希土類元素を高い励起状態とする。それによって、コア内を伝搬する信号光を増幅する。



BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 希土類元素が添加されたコア、および前記コアより低い屈折率を具えたクラッドからなる石英光導波路と、前記コア内における信号光の伝搬方向に対して交差する方向から前記クラッド内に、前記希土類元素を励起するための光を入射させる少なくとも1つの励起光源と、を具備することを特徴とする光増幅器。

【請求項2】 前記クラッドの外表面は、前記励起光源から発せられた光の入射部位を除いて、前記励起光源から発せられた光を反射する反射率を具えることを特徴とする請求項1に記載の光増幅器。

【請求項3】 前記クラッドの外表面は、前記励起光源から発せられた光を反射して前記コアに複数回入射させる形状を有することを特徴とする請求項2に記載の光増幅器。

【請求項4】 前記クラッドの外表面は、前記励起光源から発せられた光を反射して前記コアに複数回入射させる反射率分布を有することを特徴とする請求項2に記載の光増幅器。

【請求項5】 前記コアは、前記クラッド内で、増幅率に応じた長さの反転分布を有する非線形形状を有することを特徴とする請求項2に記載の光増幅器。

【請求項6】 前記希土類元素は、エルビウム、プラセオジウムまたはトリウムであることを特徴とする請求項1～5のいずれか一つに記載の光増幅器。

【請求項7】 前記励起光源は半導体レーザーであることを特徴とする請求項1～6のいずれか一つに記載の光増幅器。

【請求項8】 前記半導体レーザーは複数の横モードで発振することを特徴とする請求項7に記載の光増幅器。

【請求項9】 前記半導体レーザーの発振波長は980nm帯または1480nm帯であることを特徴とする請求項7または8に記載の光増幅器。

【請求項10】 前記石英光導波路および前記励起光源は単一の基板上に集積されていることを特徴とする請求項1～9のいずれか一つに記載の光増幅器。

【請求項11】 前記基板はシリコンでできていることを特徴とする請求項10に記載の光増幅器。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、希土類元素を添加した増幅媒体を備えた光増幅器に関する。

【0002】

【従来の技術】光増幅器は、光通信システムの柔軟性を高めるキーコンポーネントとして注目されている。その理由は、電気的に等化増幅(Reshaping)、識別再生(Regenerating)およびリタイミング(Retiming)という3R機能を有する光中継器と比較して、光増幅器には、伝送速度に依存しない、

中継器の簡素化が可能である、波長多重による大容量化が可能であるなどの利点があるからである。

【0003】図5は、従来の光増幅器の構成を示す概略図である。この光増幅器は、希土類元素が添加された単一モード光ファイバ11、希土類元素を励起するための光(以下、励起光とする)を発する励起光源12、信号光と励起光を合波する合波器13、光導波路である単一モード光ファイバ14により構成されている。合波器13は、励起光を信号光に平行に入射させて信号光と合波させる構成となっている。

【0004】単一モード光ファイバ14に入射した信号光は其中を伝搬する。単一モード光ファイバ14内を伝搬した信号光が合波器13に達すると、そこで信号光と励起光とが合波される。ここで、光導波路、すなわち光ファイバ14が単一モードであるため、励起光も単一モードである。合波された信号光および励起光は、増幅媒体である希土類添加の単一モード光ファイバ11に入射する。そして、希土類添加の単一モード光ファイバ11内を信号光が伝搬するに連れて、信号光は増幅される。このような構成の光増幅器は、たとえば特開平10-135550号公報に開示されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した従来の光増幅器では、合波器において励起光のエネルギーの損失が生じる。また、信号光の増幅率は、増幅媒体、すなわち希土類添加の単一モード光ファイバ11の長さに比例するが、その一方で増幅媒体による励起光の吸収の影響で増幅媒体の長さが長くなると励起光の強度が減衰してしまう。したがって、増幅率をある一定の値以上にするのは困難であり、そのため光増幅器の出力を高めることができないという問題点がある。

【0006】また、単一モードの光を発する励起光源の強度は最大でも200mW程度であるため、入力信号光の多重数が増加した場合に所望の増幅度を得ることは困難であるという問題点もある。さらに、増幅媒体として光ファイバを用いた構成であるため、光増幅器の装置規模が大きくなるという不都合もある。

【0007】本発明は、上記問題点を解決するためになされたもので、小型で高出力の光増幅器を得ることを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明は、希土類元素が添加されたコア、および前記コアより低い屈折率を具えたクラッドからなる石英光導波路と、前記コア内における信号光の伝搬方向に対して交差する方向から前記クラッド内に、前記希土類元素を励起するための光を入射させる少なくとも1つの励起光源と、を具備することを特徴とする。この発明によれば、コア内の希土類元素は、コア内を伝搬する信号光の伝搬方向に対して交差する方向からクラッド内に入射さ

れた励起光によって高い励起状態となるので、信号光はコア内を伝搬するに連れて増幅される。

【0009】この発明において、前記クラッドの外表面は、前記励起光源から発せられた光の入射部位を除いて、前記励起光源から発せられた光を反射する反射率を具える構成となっていてよい。そうすれば、クラッドの外表面で励起光の反射が起こるので、反射前と反射後の励起光がコアに当たることになる。

【0010】また、この発明において、前記クラッドの外表面は、前記励起光源から発せられた光を反射して前記コアに複数回入射させる形状を有する構成となっていてよい。そうすれば、クラッドの外表面で励起光が繰り返し反射されることになり、それによってコアの全域にわたって高強度でかつ平均的に励起光が当たることになる。

【0011】また、この発明において、前記クラッドの外表面は、前記励起光源から発せられた光を反射して前記コアに複数回入射させる反射率分布を有する構成となっていてよい。そうすれば、クラッドの外表面で励起光が繰り返し反射されることになり、それによってコアの全域にわたって高強度でかつ平均的に励起光が当たることになる。

【0012】また、この発明において、前記コアは、前記クラッド内で、増幅率に応じた長さの反転分布を有する非線形形状を有する構成となっていてよい。そうすれば、コア形状を変えて反転分布の長さが変わると、増幅率が変化する。

【0013】また、この発明において、前記希土類元素は、エルビウム、プラセオジウムまたはトリウムであってもよい。この場合、エルビウム、プラセオジウムまたはトリウムは、励起光によって高い励起状態となる。

【0014】また、この発明において、前記励起光源は半導体レーザであってもよい。そうすれば、半導体レーザから出射されたレーザ光によってコア内の希土類元素が励起される。

【0015】また、この発明において、前記半導体レーザは複数の横モードで発振する構成となっていてよい。そうすれば、複数の横モードで発振する半導体レーザから、単一モードの光を発する半導体レーザよりも高強度の励起光が発せられる。

【0016】また、この発明において、前記半導体レーザの発振波長は980nm帯または1480nm帯である構成となっていてよい。そうすれば、980nm帯のレーザ光の照射によるポンピングで1μm帯の信号光が増幅される。また、1480nm帯のレーザ光の照射によるポンピングで1.55μm帯の信号光が増幅される。

【0017】また、この発明において、前記石英光導波路および前記励起光源は単一の基板上に集積された構成となっていてよい。そうすれば、石英光導波路と励起

光源が単一の基板上に集積された光増幅器が得られる。

【0018】また、この発明において、前記基板はシリコンでできていてもよい。この場合、シリコンが高熱伝導性を有するため、励起光源から発せられる熱の放熱性に優れる。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、この発明にかかる光増幅器の実施の形態を、添付図面を参照して詳細に説明する。

【0020】実施の形態1. 図1は、本発明にかかる光増幅器の一例を示す斜視図である。この光増幅器は、石英製のコア21および石英製のクラッド22からなる石英光導波路(PLC)2と励起光源3が基板4上に集積された構成となっている。コア21には希土類元素が添加(ドーブ)されている。希土類元素としては、たとえばエルビウム、プラセオジウムまたはトリウムなどである。クラッド22の屈折率はコア21の屈折率よりも低い。したがって、コア21に入射された信号光は常にコア21内に閉じ込められながらコア21に沿って伝搬する。

【0021】励起光源3はたとえば半導体レーザで構成されている。その半導体レーザは、好ましくは複数の横モードで発振するレーザ、すなわちマルチモードのレーザであるのがよい。その理由は、単一モードで発信する半導体レーザよりも出力が高いからである。この半導体レーザよりなる励起光源3から発せられたレーザ光(励起光)により1μm帯の信号光を増幅する場合、半導体レーザの発振波長は980nm帯であるのが適当である。また、1.55μm帯の信号光を増幅する場合には、励起光源3の半導体レーザは1480nm帯での発振するのが適当である。コア21内で信号光が伝搬する方向に対して交差する方向、つまりコア21の長手方向に対して交差する方向からクラッド22内に励起光を入射させるように、励起光源3は配置される。

【0022】基板4は、特に限定しないが、たとえばシリコン(Si)でできているのがよい。その理由は、シリコンは高熱伝導性を有するため、励起光源3の半導体レーザの発振により発生する熱を基板4を介して効率よく放散させることができるからである。この放熱によって、励起光源3の半導体レーザが高温になるのが抑制されるので、励起光源3の出力低下が抑制される。

【0023】つぎに、実施の形態1の作用について説明する。コア21に入射した信号光はコア21内に閉じ込められながらコア21に沿って進行する。励起光源3から照射された励起光は、クラッド22の側面から石英光導波路2内に入射する。この励起光によって、コア21内にドーブされた希土類元素は高い励起状態となる。それによって、信号光はコア21に沿って伝搬するに連れて増幅され、石英光導波路2から出射する。

【0024】上述した実施の形態1によれば、コア21内を伝搬する信号光の伝搬方向に対して交差する方向か

ら石英光導波路2内に励起光を入射させることによってコア21内の希土類元素を励起させているため、従来のような合波器が不要となり、合波器でのエネルギー損失がなくなる。また、励起光源3として、単一モード半導体レーザよりも高出力であるマルチモード半導体レーザを用いている。したがって、高出力の光増幅器が得られる。

【0025】また、励起光源3として半導体レーザを用いることによって励起光源3を小型化できる。また、従来のように増幅媒体として希土類添加の単一モード光ファイバを用いていないため、増幅媒体を小型化できる。そして、その半導体レーザと石英光導波路2を基板4上に集積しているため、小型で取り扱いが容易な光増幅器が得られる。

【0026】実施の形態2。図2は、本発明にかかる光増幅器の実施の形態2を示す平面図である。実施の形態2が実施の形態1と異なるのは、石英光導波路2Aが、石英光導波路2のクラッド22の代わりにクラッド22Aを有することである。その他の構成は実施の形態1と同じであるため、実施の形態1と同一の構成については同じ符号を付して説明を省略する。以下、異なる構成についてのみ説明する。

【0027】クラッド22Aの外表面は、励起光源3から出射した励起光の入射部位を除いて、励起光を反射する反射率を有するようにされている。具体的には、たとえばクラッド22Aの外表面に誘電体多層膜フィルタなどが貼り付けられており、励起光をクラッド22Aの内部へ向けて反射するようになっている。また、クラッド22Aの外表面は、励起光の反射が複数回起こるような形状になっている。具体的には、たとえばクラッド22Aの外表面は円形または多角形の平面形状を有する。

【0028】つぎに、実施の形態2の作用について説明する。コア21に入射した信号光はコア21内に閉じ込められながらコア21に沿って進行する。励起光源3から照射された励起光は、クラッド22Aの側面から石英光導波路2A内に入射し、クラッド22Aの外表面で複数回反射する。それによって、コア21には、その全域にわたって高強度でかつ平均的に励起光が照射されることになる。したがって、コア21内にドープされた希土類元素は常に高い励起状態となる。それによって、信号光はコア21に沿って伝搬するに連れて増幅され、石英光導波路2Aから出射する。

【0029】上述した実施の形態2によれば、励起光がクラッド22Aの外表面で複数回反射して石英光導波路2A内に複数回入射することによって、コア21の全域にわたって高強度でかつ平均的に励起光が照射される。したがって、コア21の全域にわたって高強度でかつ平均的に励起光が照射されるため、コア21内の希土類元素が常に高い励起状態となるので、小型でより高出力の光増幅器が得られる。

【0030】実施の形態3。図3は、本発明にかかる光増幅器の実施の形態3を示す平面図である。実施の形態3が実施の形態1と異なるのは、石英光導波路2Bが、石英光導波路2のクラッド22の代わりにクラッド22Bを有することと、そのクラッド22Bの外表面に反射率変化装置5が設けられていることである。その他の構成は実施の形態1と同じであるため、実施の形態1と同一の構成については同じ符号を付して説明を省略する。以下、異なる構成についてのみ説明する。

【0031】クラッド22Bの外表面の反射率分布は、反射率変化装置5により任意に変えられる。クラッド22Bの外表面の反射率分布を変えることにより、励起光源3から石英光導波路2B内に入射した励起光を任意の方向に反射させることができる。したがって、石英光導波路2B内で励起光の反射が複数回起こるように、クラッド22Bの外表面の複数個所に反射率変化装置5が取り付けられ、各反射率変化装置5による反射方向が調整される。反射率変化装置5は、特に限定しないが、たとえばグレーティングや誘電体多層膜フィルタなどで構成される。

【0032】つぎに、実施の形態3の作用について説明する。コア21に入射した信号光はコア21内に閉じ込められながらコア21に沿って進行する。励起光源3から照射された励起光は、クラッド22Bの側面から石英光導波路2B内に入射し、複数個所に設けられた反射率変化装置5により複数回反射する。それによって、コア21には、その全域にわたって高強度でかつ平均的に励起光が照射されることになる。したがって、コア21内にドープされた希土類元素は常に高い励起状態となる。それによって、信号光はコア21に沿って伝搬するに連れて増幅され、石英光導波路2Bから出射する。

【0033】上述した実施の形態3によれば、励起光が反射率変化装置5により複数回反射して石英光導波路2B内に複数回入射することによって、コア21の全域にわたって高強度でかつ平均的に励起光が照射される。したがって、コア21内の希土類元素が常に高い励起状態となるので、小型でより高出力の光増幅器が得られる。また、基板4の制限などにより石英光導波路2Bの形状が限定される場合に有効である。

【0034】実施の形態4。図4は、本発明にかかる光増幅器の実施の形態4を示す平面図である。実施の形態4が実施の形態1と異なるのは、石英光導波路2Cが、石英光導波路2のコア21およびクラッド22の代わりにコア21Cクラッド22Cを有することである。なお、クラッド22Cは、図2に示す実施の形態2のクラッド22Aと同じであるため、説明を省略する。また、実施の形態1と同一の構成については同じ符号を付して説明を省略する。以下、異なる構成についてのみ説明する。

【0035】コア21Cは、クラッド22C内で、所望

の増幅率に応じた長さの反転分布を有する形状をなしている。たとえば、コア21Cは非線形形状をなしている。特に限定しないが、図4に示す例では、コア21Cは略S字状をなしている。この光増幅器の増幅率は、コア21Cに形成される反転分布の長さによって決まる。したがって、コア21Cは、所望の増幅率が得られるように、成形される。

【0036】つぎに、実施の形態4の作用について説明する。コア21Cに入射した信号光はコア21C内に閉じ込められながらコア21Cに沿って進行する。励起光源3から照射された励起光は、クラッド22Cの側面から石英光導波路2C内に入射し、クラッド22Cの外表面で複数回反射する。それによって、コア21Cには、その全域にわたって高強度でかつ平均的に励起光が照射されることになる。したがって、コア21C内にドーパされた希土類元素は常に高い励起状態となる。それによって、信号光はコア21Cに沿って伝搬するに連れて増幅され、石英光導波路2Cから出射する。

【0037】上述した実施の形態4によれば、励起光がクラッド22Cの外表面で複数回反射して石英光導波路2C内に複数回入射することによって、コア21Cの全域にわたって高強度でかつ平均的に励起光が照射される。したがって、コア21Cの全域にわたって高強度でかつ平均的に励起光が照射されるため、コア21C内の希土類元素が常に高い励起状態となるので、小型でより高出力の光増幅器が得られる。また、コア形状を任意に変えて反転分布の長さを調整することによって、任意の増幅率を有する光増幅器を得ることができる。

【0038】なお、上記各実施の形態においては、励起光源3はマルチモードの半導体レーザで構成されたとしたが、これに限らず、励起光源3は単一モードの半導体レーザであってもよいし、また半導体レーザ以外の光源であってもよい。また、上記各実施の形態においては、基板4はシリコンで構成されたとしたが、これに限らず、熱伝導性に優ればシリコン以外の材料で基板4が構成されていてもよい。さらに、励起光源を複数設けてもよい。

【0039】

【発明の効果】以上、説明したとおり、この発明によれば、コア内の希土類元素は、コア内を伝搬する信号光の伝搬方向に対して交差する方向からクラッド内に入射された励起光によって高い励起状態となるので、信号光はコア内を伝搬するに連れて増幅される。したがって、高出力の光増幅器が得られる。

【0040】つぎの発明によれば、クラッドの外表面で励起光の反射が起こるので、反射前と反射後の励起光がコアに当たることになる。したがって、高出力の光増幅器が得られる。

【0041】つぎの発明によれば、クラッドの外表面で励起光が繰り返し反射されることになり、それによってコ

アの全域にわたって高強度でかつ平均的に励起光が当たることになる。したがって、より高出力の光増幅器が得られる。

【0042】つぎの発明によれば、クラッドの外表面で励起光が繰り返し反射されることになり、それによってコアの全域にわたって高強度でかつ平均的に励起光が当たることになる。したがって、より高出力の光増幅器が得られる。

【0043】つぎの発明によれば、コア形状を変えて反転分布の長さが変わると、増幅率が変化するため、所望の増幅率を有する高出力の光増幅器が得られる。

【0044】つぎの発明によれば、エルビウム、プラセオジウムまたはトリウムは、励起光によって高い励起状態となるため、光通信において一般的に用いられる波長帯域に適した高出力の光増幅器が得られる。

【0045】つぎの発明によれば、半導体レーザから出射されたレーザ光によってコア内の希土類元素が励起される。したがって、励起光源が小型となるので、小型の光増幅器が得られる。

【0046】つぎの発明によれば、複数の横モードで発振する半導体レーザから、単一モードの光を発する半導体レーザよりも高強度の励起光が発せられる。したがって、小型で高出力の光増幅器が得られる。

【0047】つぎの発明によれば、980nm帯のレーザ光の照射によるポンピングで1 $\mu$ m帯の信号光が増幅される。また、1480nm帯のレーザ光の照射によるポンピングで1.55 $\mu$ m帯の信号光が増幅される。したがって、光通信において一般的に用いられる波長帯域に適した小型で高出力の光増幅器が得られる。

【0048】つぎの発明によれば、石英光導波路と励起光源が単一の基板上に集積された光増幅器が得られるので、小型で取り扱いが容易な光増幅器が得られる。

【0049】つぎの発明によれば、シリコンが高熱伝導性を有するため、励起光源から発せられる熱の放熱性に優れる。したがって、励起光源の出力低下を防ぐことができるので、小型で取り扱いが容易であるとともに高出力の光増幅器が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態1にかかる光増幅器を示す斜視図である。

【図2】 本発明の実施の形態2にかかる光増幅器を示す平面図である。

【図3】 本発明の実施の形態3にかかる光増幅器を示す平面図である。

【図4】 本発明の実施の形態4にかかる光増幅器を示す平面図である。

【図5】 従来における光増幅器の構成を示す概略図である。

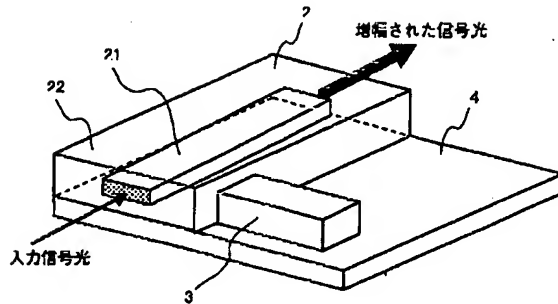
【符号の説明】

2, 2A, 2B, 2C 石英光導波路、21, 21C

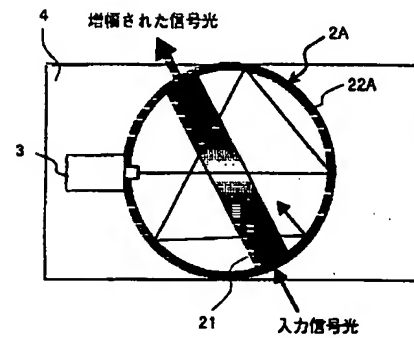
コア、21、22A、22B、22C クラッド、3

励起光源、4 基板、5 反射率変化装置。

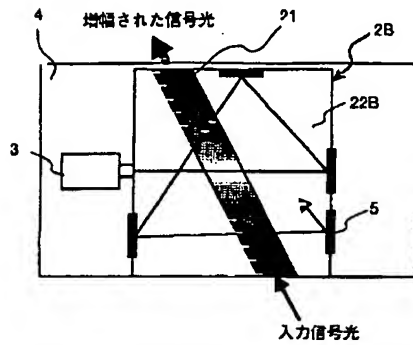
【図1】



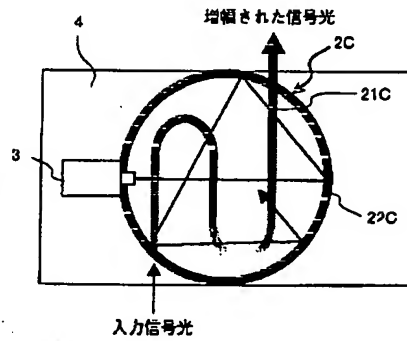
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

